

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ ТА НАЙМЕНШОЇ ДІЇ

Віктор Шмідт, Микола Садовий

В статті розкривається проблема дослідження М. Планком двох фундаментальних принципів природи: збереження енергії і найменшої дії та їхнє наукове співвідношення.

In the article the problem of research of M. Planck opens up two fundamental principles of nature of conservation of energy and the least action and their scientific correlation.

Проблема учіння є найбільш складною й найменш опрацьованою. Вона полягає в організації ефективної розумової діяльності учня, студента з метою розвитку мислення, формування необхідної суми знань, умінь і навичок, вироблення сучасної наукової картини світу [5, с. 39]. Ефективність засвоєння знань залежить від мотивації процесу навчання. Мотиваційний компонент навчально-пізнавальної діяльності, як вироблення стійкого позитивного ставлення до навчання, розвиток допитливості, набуває особливого значення під час вивчення фізики. Адже саме забезпечивши стійкий інтерес до вивчення цієї науки можна отримати необхідний рівень засвоєння знань її основ. За цих обставин досить важливим є показати суб'єктам навчання, що хоч фізика є складною наукою, вона вивчає і пояснює всі явища природи. Найбільш вдало це можна досягти, показуючи в процесі навчання історичні факти, які залишилися поза увагою навчальних програм, підручників та посібників.

У шкільній та вузівській практиці закон збереження енергії не набув того звучання, якого наділила йому Природа. Його формулювання добре знають суб'єкти навчання, приводять приклади застосування у явищах Природи, в основному механічних явищ. Проте при аналізі конкретних явищ молекулярної, квантової фізики, електродинаміки, оптики, елементарних частинок учні і студенти зазнають труднощів. Практично поза увагою навчального процесу залишалися і такі важливі принципи, як принцип найменшої дії, принцип можливих переміщень, принцип найменшого вимушення. Тому в методиці навчання фізики постала проблема проаналізувати вказані принципи на предмет визначення обсягу і змісту для ознайомлення студентів та учнів під час поглибленого вивчення фізики.

У методиці фізики добре розглянуто, що після експериментальних та теоретичних узагальнень Р. Майєра, Д. Джоуля, Г. Гельмгольца, утвердився фундаментальний принцип природи – закон збереження. Проте виникла проблема всебічного обґрунтування принципу збереження з урахуванням всіх відомих форм руху та матерії, надання їм ефективного математичного опису. У цей час набував наукової ваги і принцип найменшої дії. Вчені вбачали певний взаємозв'язок між принципами, почали досліджувати, який з них є більш загальним, більш фундаментальним. Декілька разів значну увагу цьому приділяв М. Планк.

У книзі «Принципи збереження енергії» М. Планк проаналізував різні види енергії у їх відношенні до принципу збереження. Спочатку він розглянув матеріальну точку (\cdot) незмінної маси. «Жива сила» $T = m/2 \{ (dx/dt)^2 + (dy/dt)^2 + (dz/dt)^2 \}$ відрізняється від енергії матеріальної точки на довільну постійну. Ця постійна в цьому випадку рівна нулю. При взаємодії двох матеріальних точок здійснюється зміна енергії, яка рівна виконаній роботі $A = Xdx + Ydy + Zdz$, де X , Y , Z є компонентами результуючої сили, рис. 1.

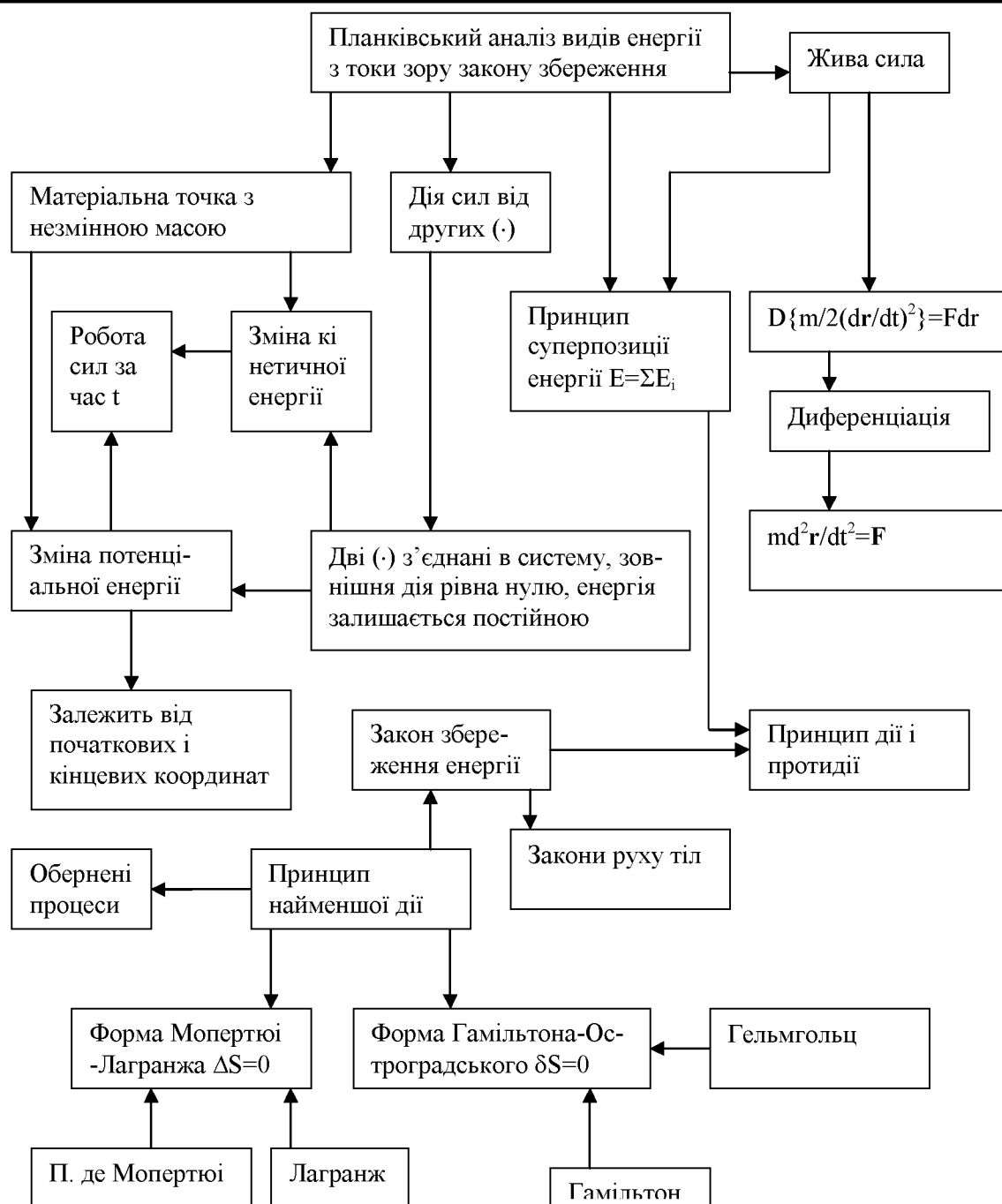


Рис. 1. Аналіз принципів природи Планком.

«На основі приведенного раніше положення одержимо, що приріст енергії за нескінченно малий час, тобто диференціал виразу живої сили, рівний указаній тут величині роботи. Тим самим, застосовуючи принцип збереження енергії, ми знайшли б рівняння, якому підкоряється рух точки; все ж цього рівняння недостатньо, щоб визначити залежність кожної із трьох змінних x , y , z від часу t » [1, с. 145]. Для розв'язання проблеми, крім закону збереження енергії, необхідно опиратись на принцип суперпозиції енергії, який стверджує, що енергія матеріальної системи може бути представлена у вигляді суми окремих видів енергії, незалежних один від другої. Принцип суперпозиції є наближенням. Якщо вважати допустимим застосування принципу, то мають місце три

рівняння $d\{m/2(dx/dt)^2\}=Xdx$; $d\{m/2(dy/dt)^2\}=Ydy$; $d\{m/2(dz/dt)^2\}=Zdz$, про диференціювання яких дає рівняння руху Ньютона $md^2x/dt^2=X$; $md^2y/dt^2=Y$; $md^2z/dt^2=Z$. У кожному окремому випадку принцип суперпозиції необхідно перевіряти дослідним шляхом, що говорить про наближений вивід рівнянь. Більш строгий вивід потребує врахування крім сил руху, ще й сили зв'язку, що передбачає систему не меншу ніж дві точки. Тоді «жива сила» L визначається $dL_1=X_1dx_1+Y_1dy_1+Z_1dz_1$; $dL_2=X_2dx_2+Y_2dy_2+Z_2dz_2$. Якщо точки сполучити між собою, зовнішні сили відсутні, енергія залишається постійною. Енергія системи складається з енергії «живої сили» і ще одного нового виду енергії, яка залежить від початкового та кінцевого положення точок у просторі і називається потенціальною енергією: $L_1+L_2+U=\text{const}$. $dL_1+dL_2+dU=0$.

Загалом при вивченні даного матеріалу слід наголосити, що на основі принципу суперпозиції М. Планк із принципу збереження енергії виводить принцип дії та протидії – третій закон Ньютона. Потім він встановив рівняння збереження енергії для елемента ідеального пружного тіла, рідин і газоподібних середовищ. Вчений пише: «Але яким чином кожного разу здійснити розділення енергії, – цьому в кожному окремому випадку повинен навчити дослід. Цей принцип суперпозиції відіграє у всій фізиці, як ми уже неодноразово підкреслювали, надзвичайно важливу роль; без нього всі явища змішались би одне з другим, і зовсім неможливо було б встановити залежність окремих явищ одне від другого; бо якщо кожна дія порушується другою, то природно припиняється можливість пізнати причини зв'язку. Ми ніколи не обминемо цього принципу, підкреслюємо його чітко чи використовуємо мовчки; він міститься в законі інерції точно так же, як і у законі паралелограма сил або в законі дії і протидії» [1, с. 182].

Закон збереження імпульсу є наслідком досвідно встановлених другого та третього закону Ньютона. Цей вивід міститься у шкільних та вузівських підручниках та посібниках $dT+dU=0$, $T+U=E=\text{const}$. Одержаний закон Планком безпосередньо зв'язаний з принципом найменшої дії – один з варіаційних принципів механіки.

У другій половині XIX ст. закон збереження енергії набув універсального значення і не існувало таких фізичних чи механічних процесів, де б він порушувався. Проте під сумнів ставилось, в якій мірі під принцип найменшої дії можуть бути підведені фізичні процеси, що не зводяться безпосередньо до руху вагомих мас, де задані відомі кількості енергії. Г. Гельмгольц вважав ймовірним, що цей принцип є загальним для всіх обернених природних процесів.

На увагу заслуговують дві форми застосування принципу найменшої дії:

1 – у формі Мопертюї-Лагранжа принцип установлює, що серед всіх кінематичних можливих переміщень системи із однієї конфігурації в близьку до неї другу, за умови збереження однієї і тієї ж величини повної енергії системи, дійсним є той, для якого дія буде найменша [4]. Математично це виражається $\Delta S=0$, де Δ – повна варіація (варіюються координати, швидкість, час переміщення системи із однієї конфігурації у другу) $S_0=\int Tdt$, межі інтегрування від t_0 до t_1 або $S_0=\int p_i dq_i$ межі інтегрування від точки А до В, p – узагальнені імпульси, q – узагальнені координати системи;

2 – оскільки принци найменшої дії в формі Мопертюї-Лагранжа справедливий лише для механічних систем, в яких всі накладені зв'язки є геометричними, а не диференціальними.

Слід також зазначити, що Г. Гельмгольц обирає іншу форму принципу найменшої дії. Він установлює, що серед всіх кінематично можливих переміщень системи із однієї конфігурації в другу, близьку до першої, які здійснюються за один і той же проміжок часу, дійсним є те, для якого дія буде найменшою [4]. Математичний вираз буде мати

вигляд Гамільтона-Остроградського $\delta S=0$, де δ – неповна варіація [2, с. 430-431] $S = \int L dt$, L – функція Лагранжа, межі інтегрування від t_0 до t_1 . Він стверджує, що принцип найменшої дії, взятий у приведеній формі, включає завжди принцип постійності енергії.

Г. Гельмгольц вводить функції $H=F-L$, де F – потенціальна енергія системи, L – жива сила системи, яку назвав кінетичним потенціалом. Принцип найменшої дії формулює таким чином: «Середнє значення кінетичного потенціалу, підраховане для однакових елементів часу і взяте зі знаком мінус, є мінімальною на дійсному шляху системи в порівнянні з усіма другими сусідніми шляхами, які приводять за один і той же час із початкового стану в кінцевий» [2, с. 431].

Згодом Г. Гельмгольц вводить теорему про мінімум кінетичного потенціалу і приходить до математичного виразу принципу найменшої дії до принципу постійності енергії $\sum (P_i q_i) dt + (dE/dt) dt = 0$ [2, с. 432]. Мірою збільшення чи зменшення величини E слугує додатня чи від'ємна робота, яка здійснюється силами P_i . Таким чином, принцип найменшої дії в приведеній формі включає завжди принцип постійності енергії. Принцип найменшої дії він застосував до: дзиги; електродинамічних дій замкнутого кола струму за потенціальним законом; законів обернених теплових процесів.

В 1892 році Г. Гельмгольц принцип найменшої дії поширює на електродинаміку і прийшов до системи рівнянь Максвелла.

М. Планк до аналізу принципу найменшої дії звертався неодноразово. Після ознайомлення з роботами Ж. Д'Аламбера, К. Гауса, Ж. Лагранжа він писав: «Ці принципи наступні: принцип Д'Аламбера, принцип можливих переміщень, принцип Гауса найменшого вимушення і рівняння Лагранжа першого та другого роду. Всі ці принципи еквівалентні один одному і представляють по суті різні формулювання одного і того ж закону» [3].

У 1914-1915 роках він вважав, що принцип найменшої дії є більш загальним ніж принцип збереження енергії, принцип збереження енергії можна вивести з принципу найменшої дії [2, с. 580; 3, с. 120-122]. Причину неоднакової ваги обох принципів вчений бачить в тому, що принцип збереження енергії при застосуванні до одного певного випадку, дає одне єдине рівняння, в той час коли для повного вивчення руху число рівнянь повинно бути рівним числу незалежних змінних [2, с. 581]. Принцип найменшої дії є варіаційним принципом. «Ця ознака полягає в тому, що при переході від дійсного руху до будь-якого нескінченно-близького можливого руху, точніше, при кожній сумісній з накладеними умовами нескінченно малій варіації дійсного руху характерна для варіації певна величина перетворюється у нуль. Із цієї умови виходить, як і при всякій проблемі максимуму чи мінімуму, особливе рівняння для кожної незалежної координати» [2, с. 581].

У сорокових роках XIX ст. принцип збереження енергії, як фундаментальний закон, одержав широке визнання. Евристична цінність принципу найменшої дії, який не визнавали тривалий час, виявили Л. Больцман, Г. Гельмгольц, Г. Кіргоф, К. Нейман, В. Томсон, П. Тета.

Узагальнення визначень принципу найменшої дії дає можливість констатувати, що згідно означення, для даного класу порівняльних одна з другою систем руху механічної системи, дійсною називається дія, яка має найменше точне, стаціонарне значення [4].

Ми вважаємо, що наведений матеріал стимулюватиме пізнавальну активність і активізуватиме пізнавальну діяльність суб'єктів навчання, формуванню у них широкого та глибокого інтересу до фізики.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Планк М. Принцип сохранения энергии. – М-Л.: Гостехиздат, 1938. – С. 145-182.
2. Вариационные принципы механики. – М.: Наука, 1959. – С. 430-580.
3. Планк М. Теоретическая физика. СПб., 1911. – С. 120-122.
4. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – С. 443.
5. Методика навчання і наукових досліджень у вищій школі: Навч. посіб. / С.У. Гончаренко, П.М. Олійник, В.К. Федорченко та ін.; За ред. С.У. Гончаренка, П.М. Олійника. – К.: Вища шк., 2003. – 323 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Шмідт Віктор Федорович – доктор економічних наук, професор

Наукові інтереси: проблеми історії науки.

Садовий Микола Ілліч – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання КДПУ ім. В. Винниченка.

Наукові інтереси: проблеми дидактики фізики.